

KARAKTERISTIK ALIRAN LUMPUR(SULRRY) PADA PIPA 12,7 mm

Ridwan ST, MT *), Sunyoto ST,MT *) Muhammad Alhabah)**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri

Universitas Gunadarma

Depok, Indonesia

Abstraksi

Fluida lumpur mempunyai banyak jenis yang terdiri dari banyak campuran material dimana ditunjukkan sebagai fluida non-Newtonian atau fluida viscoelastic. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji sifat-sifat kekentalan aliran dan membuat kurva aliran untuk lumpur dengan menggunakan pipa bulat. Diameter tabung adalah 12.7 mm. tegangan geser dan gradient kecepatan didapatkan dengan perhitungan, dari data pengukuran variasi kecepatan aliran pada masing-masing gradient tekanannya. Nilai power law eksponen di dapat untuk masing-masing perubahan konsentrasi larutan lumpur. Hasil menunjukkan kekentalan sesaat dari larutan lumpur tidak proporsional dengan tegangan geser dan gradient kecepatan tetapi berhubungan dengan model power law.

PENDAHULUAN

Aliran dalam suatu pipa berfungsi untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain. Pada umumnya fluida yang akan di pindahkan memiliki nilai kekentalan yang berbeda-beda. Nilai kekentalan ini sangat penting untuk diketahui agar dapat menentukan kebutuhan energi yang diperlukan. Disamping itu pula kekentalan fluida ini akan menentukan sumber energi yang akan digunakan pompa untuk

memindahkannya. Banyak faktor yang akan mempengaruhi kekentalan dari suatu fluida, antara lain temperatur, kandungan zat dalam fluida tersebut dan lain sebagainya.

Fluida secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu fluida Newtonian dan fluida Non-Newtonian yang mempunyai sifat yang sangat berbeda. Untuk fluida Newtonian viskositasnya tidak mengalami perubahan ketika ada gaya yang bekerja padanya, viskositas

fluida ini akan mengalami perubahan jika terjadi perubahan temperatur.

Mud Slurry (lumpur) merupakan salah satu contoh fluida Non-Newtonian fluida ini akan mengental seiring dengan waktu. Pada kasus lumpur *slurry* lumpur bercampur dengan *clay* sehingga tidak begitu mudah untuk dialirkan karena lumpur ini akan cenderung mengendap sehingga membentuk padatan/*sludge* yang tidak bisa dialirkan sama sekali. Kondisi ini dipersulit dengan kandungan padatan yang lebih tinggi pada material yang telah terakumulasi dibanding dengan lumpur segar pada pusat semburan

LANDASAN TEORI

Definisi Fluida

Fluida secara khusus didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser. Sebuah tegangan geser terbentuk apabila sebuah gaya tangensial bekerja pada sebuah permukaan. Apabila benda-benda padat biasanya seperti baja atau logam-logam lainnya dikenai oleh suatu tegangan geser,

mula-mula benda itu akan berdeformasi (biasanya sangat kecil), tetapi tidak akan terus menerus berdeformasi (mengalir). Namun, cairan seperti air, minyak, dan udara memenuhi definisi dari sebuah fluida. Secara umum fluida dibagi menjadi dua, yaitu statika fluida dan dinamika fluida. Statika fluida adalah fluida yang tidak bergerak (diam), dinamika fluida adalah fluida yang bergerak. Dalam penerapannya, fluida tidak terlepas dari viskositas.

Macam-macam Aliran Fluida

Mekanika fluida adalah ilmu yang mempelajari tentang tipe-tipe aliran fluida dalam medium yang berbeda-beda. Aliran fluida terbagi atas beberapa kategori, dibagi berdasarkan sifat-sifat yang paling dominan dari aliran tersebut, atau berdasarkan jenis dari fluida yang terkait.

Berdasarkan pergerakannya aliran fluida terdiri dari :

- **Steady Flow**

Steady flow merupakan suatu aliran fluida dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatan konstan pada setiap titik pada aliran tersebut.

- **Non Steady Flow**

Non steady flow terjadi apabila ada suatu perubahan kecepatan pada aliran tersebut terhadap perubahan waktu.

- **Uniform Flow**

Uniform flow merupakan aliran fluida yang terjadi besar dan arah dari vektor-vektor kecepatan tidak berubah dari suatu titik ke titik berikutnya dalam aliran fluida tersebut.

- **Non Uniform Flow**

Aliran ini terjadi jika besar dan arah vektor-vektor kecepatan fluida selalu berubah terhadap

lintasannya. Ini terjadi apabila luas penampang medium fluida juga berubah.

Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara merata.

Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan-kecenderungan terjadinya gerakan relative antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi pasti hukum viskositas Newton, yaitu:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

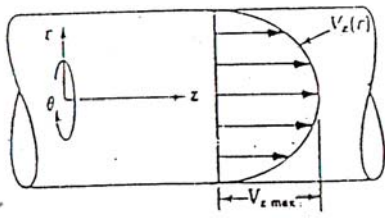
dimana :

τ = tegangan geser

dialiri fluida (Pa)

μ = viskositas
dinamik fluida (Pa.det)

du/dy = gradient
kecepatan (1/det)

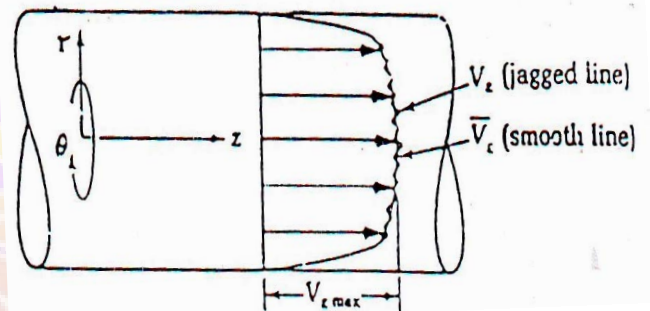


Gambar 2.1
Distribusi kecepatan aliran laminar
pada pipa tertutup

- **Aliran Turbulen**

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar.

Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi mengakibatkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.



Gambar 2.2
Distribusi kecepatan aliran turbulen
Dalam pipa tertutup pada arah aksial

- **Aliran Transisi**

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.

Aliran berdasarkan bisa tidaknya dicompres

- **Compressible flow**, dimana aliran ini merupakan aliran yang mampu mampat. di titik-titik yang bersesuaian mempunyai perbandingan konstan.
 - **Incompressible flow**, aliran tidak mampu mampat.
- Persamaan-persamaan yang berkaitan dengan aliran fluida**

▪ **Persamaan kontinuitas**

Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran, apakah aliran tersebut laminar, transisi atau turbulen. Osborne Reynolds telah mempelajari untuk mencoba menentukan bila dua situasi aliran yang berbeda akan serupa secara dinamik bila memenuhi:

1. Kedua aliran tersebut serupa secara geometrik, yakni ukuran-ukuran linier yang bersesuaian mempunyai perbandingan yang konstan.
2. Garis-garis aliran yang bersesuaian adalah serupa secara geometrik, atau tekanan-tekanan

$$\rho \cdot A \cdot V = m = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

A = luas penampang yang dilalui

fluida (m^2)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

Karena pada aliran *incompressible* tidak ada perubahan aliran massa jenis maka berlaku:

$$A \cdot V = Q = \text{konstan} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana:

Q = debit aliran (laju volumetrik)

▪ **Persamaan Bernoulli**

$$\left(\frac{P}{\rho}\right) + \left(\frac{V^2}{2}\right) + gz = \text{konstanta} \quad \dots\dots (2.12)$$

dimana :

P = tekanan pada suatu titik aliran fluida (N/m²)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

V = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

z = tinggi suatu titik dari permukaan (m)

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

f = friction factor (tidak berdimensi)

untuk mencari f (factor gesekan)

▪ Aliran laminar

$$f = \frac{64}{N_R} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

▪ Aliran turbulen

$$f = \frac{0,316}{R^{1/4}} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Aliran di Dalam pipa

Dalam aliran takmampu mampat (*incompressible*) stedi didalam pipa, dinyatakan dalam kerugian tinggi-tekan atau penurunan tekanan (*pressure drop*). Untuk perhitungan didalam pipa pada umumnya dipakai persamaan Darcy Weisbach.

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

L = panjang pipa (m)

Pada analisa simulasi atau eksperimen aliran fluida didalam pipa ketika berada disekitar pintu masuk kecepatan aliran diandaikan seragam atau belum berkembang penuh. Untuk mencari aliran berkembang penuh dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{Le}{D} = 0,06 \cdot Re \quad \text{Untuk}$$

aliran laminar (2.16)

$$\frac{Le}{D} = 4,4 \cdot Re^{\frac{1}{6}} \text{ Untuk aliran turbulen (2.17)}$$

Jenis pipa

Dari sekian banyak pembuatan pipa secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua bagian

1. Jenis pipa tanpa sambungan
(pembuatan pipa tanpa sambungan pengelasan)
2. Jenis pipa dengan sambungan
(pembuatan pipa dengan pengelasan)

Sambungan Perpipaan

Sambungan perpipaan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sambungan dengan menggunakan pengelasan
2. Sambungan dengan menggunakan ulir

Selain sambungan seperti diatas, terdapat pula penyambungan khusus yang menggunakan pengeleman (perekat) serta pekeleman (untuk pipa

plastik dan pipa *fiber glass*). Pada pengilangan umumnya pipa bertekanan rendah dan pipa dibawah 2" sajalah yang menggunakan sambungan lurus.

SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat-sifat fluida yang perlu diketahui antara lain:

1. Density

Semua fluida memiliki sifat density ini, yang dimaksud dengan densitas adalah jumlah zat yang terkandung di dalam suatu unit volume, densitas dapat dinyatakan dalam tiga bentuk yaitu :

a. Densitas massa

Perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ (2.13)}$$

Dimana m adalah massa dan v adalah volume, unit density

adalah $\frac{kg}{m^3}$ dan dimensi dari

densitas ini adalan ML^{-3} .

harga standarnya pada

tekanan $p = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

dan temperatur $T = 288.15 \text{ K}$ untuk air adalah 1000 kg / m^3

b. Berat spesifik

Berat spesifik adalah nilai densitas massa dikalikan dengan gravitasi, dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\gamma = \rho \cdot g \dots\dots\dots(2.14)$$

Satuan dari berat spesifik ini adalah $\frac{N}{m^3}$, dan dimensi dari berat spesifik ini adalah $ML^{-3}T^{-2}$ dimana nilai γ air adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

c. Densitas relatif

Densitas relatif disebut juga spesifik gravity (s.g) yaitu perbandingan antara densitas massa dengan berat spesifik suatu zat terhadap densitas massa atau berat spesifik dari suatu zat standar, dimana yang dianggap memiliki nilai zat standar adalah air pada temperatur 4^0 C . densitas relatif ini tidak memiliki satuan.

Pada fluida *Non-Newtonian* khususnya slurry density dari fluida

dapat dinyatakan dalam bentuk C_w yang artinya persentase konsentrasi padatan yaitu perbandingan presentase antara padatan dengan air sebagai pelarut.

2. Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa untuk laju aliran maka viskositas berbanding lurus dengan tegangan geser ini berlaku pada *fluida Newtonian*.

Pada dasarnya viskositas ini disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal antara lain temperatur, konsentrasi larutan, bentuk partikel dan sebagainya.

Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, yakni :

1. Viskositas dinamik (μ)

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser

dengan laju perubahannya, besarnya nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor-faktor diatas tersebut, untuk viskositas dinamik air pada temperatur standar lingkungan (27°C) adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$

2. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan(*density*) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas kinematik ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. nilai viskositas kinematik air pada temperatur standar (27°C) adalah $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

kekentalan (*viscosity*) merupakan fungsi daripada waktu. Fluida *Non-Newtonian* ini tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran. Sebagai contoh dari fluida *Non-Newtonian* ini antara lain : cat, minyak pelumas, lumpur, darah, obat-obatan cair, bubur kertas, dsb.

Berikut ini ada beberapa model pendekatan untuk fluida *Non-Newtonian* :

a. Bingham plastic

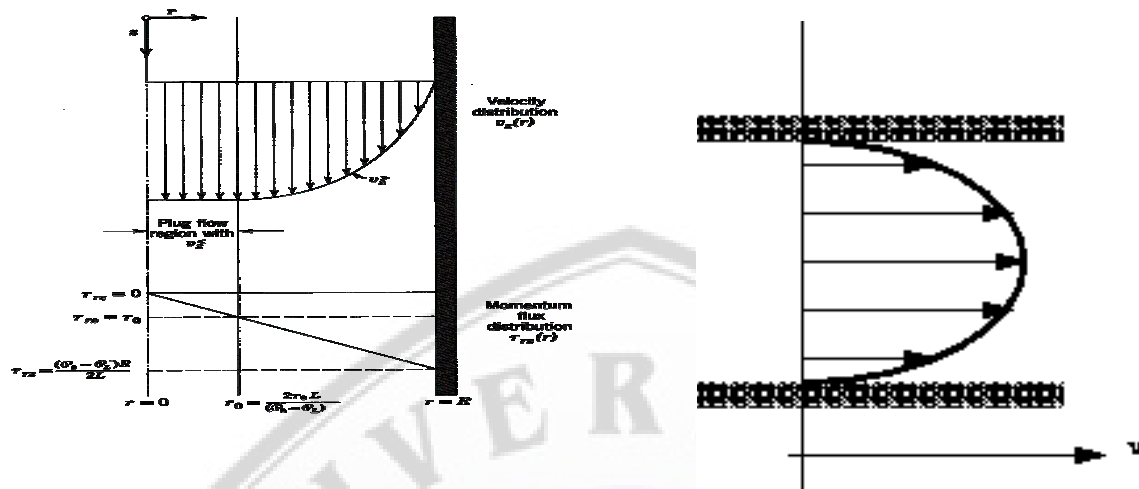
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viscositasnya akan sangat tergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viscositasnya akan menjadi konstan.

Persamaan untuk model *Bingham pastic* ini ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots(2.2)$$

Fluida *Non-Newtonian*

Fluida *Non-Newtonian* adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), *gradient* kecepatan (*shear rate*) dan temperatur. Dengan kata lain



Gambar 2.1. Distribusi Kecepatan *Bingham plastic fluid* pada pipa

b. Pseudoplastic

Pseudoplastis adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viscositasnya cenderung menurun tetapi shear stress dari fluida ini akan semakin meningkat. contoh fluida ini adalah *vinil acetate/vinylpyrrolidone co-polymer* (PVP/PA).

Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < \dots \dots \dots (2.3)$$

Gambar 2.2. Distribusi Kecepatan *pseudoplastis fluid* pada pipa

c. Dilatant

Dilatan adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viscositas dan *shear stress* dari fluida ini akan cenderung mengalami peningkatan. contoh dari fluida jenis ini adalah pasta

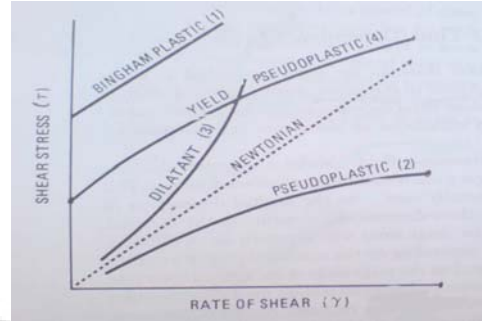
Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (2.4)$$

Penggolongan lainnya untuk fluida Non-Newtonian adalah :

a. *Thixotropic (Shear thinning)*, fluida dimana viscositasnya seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viscositasnya akan menurun contoh fluida ini adalah cat, campuran tanah liat (clay) dan berbagai jenis jel.

b. *Rheopectic (shear thickening)*, adalah fluida yang viscositasnya seolah-olah makin lama makin besar. Sebagai contoh adalah minyak pelumas dimana viscositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang bekerja padanya maka viscositas fluida ini akan bertambah.



Gambar.2.3 Kurva aliran hubungan antara shear stress dan gradien kecepatan

Kurva dibawah ini akan menunjukkan hubungan tegangan geser (*shear stress*) dengan gradien kecepatan (*shear rate*) pada fluida *thixotropic* dan *rheotropic*

Persamaan – persamaan Fluida

1. Laju Aliran Volume

Laju aliran volume disebut juga dengan debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan dalam persamaan :

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (2.16)$$

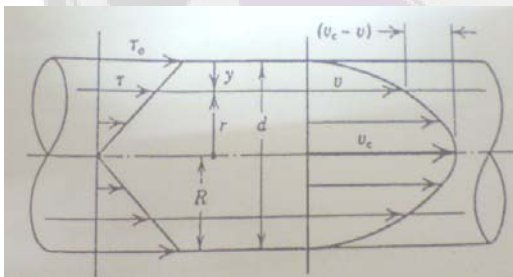
Dimana Q adalah debit aliran dalam satuan m^3/s , A adalah luas penampang pipa dalam satuan m^2 dan V adalah kecepatan aliran dalam satuan m/s . Selain persamaan diatas debit aliran juga dapat di hitung dengan persamaan

$$Q = \frac{v}{t} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana Q adalah debit aliran [m³/s], v adalah volume aliran [m³] dan t adalah satuan waktu [s]

2. Distribusi kecepatan

Distribusi kecepatan merupakan distribusi aliran dalam pipa terhadap jarak aliran terhadap permukaan pipa. Distribusi aliran ini berbeda antara aliran laminar dan aliran turbulen. Distribusi aliran digunakan untuk melihat profil aliran kecepatan dalam pipa



Gambar 2.6 Kecepatan aliran laminar^[7]

Untuk aliran laminar maka kecepatan berlaku :

$$V = \frac{1}{2} v_c \dots \dots \dots (2.18)$$

$$v = v_c \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = v_c \left(1 - \frac{(R-y)^2}{R^2} \right) \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]

vc = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]

v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]

r = kecepatan aliran v dari titik pusat diameter dalam pipa [m]

y = jarak kecepatan aliran v dari permukaan dalam pipa [m]

R = jari-jari pipa [m]

Untuk aliran turbulen, maka berlaku persamaan :

$$\frac{V}{v_c} = \frac{49}{60} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\frac{v}{v_c} = \left(\frac{y}{R} \right)^m \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]

vc = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]

v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]

y = jarak kecepatan aliran v dari permukaan dalam pipa [m]

R = jari-jari pipa [m]

$m = \frac{1}{7}$ untuk Re lebih kecil dari 10^5

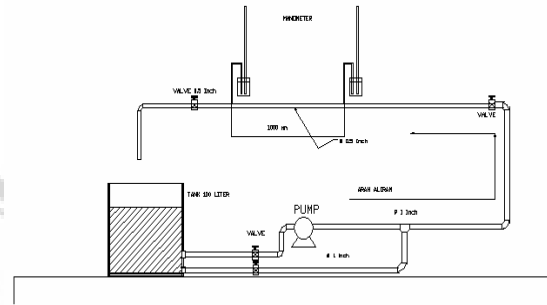
ALAT PENGUJIAN

RANCANGAN ALAT UJI

Pada penelitian ini alat uji dirancang sendiri berdasarkan dasar teori dan pengalaman dari dosen pembimbing. Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium, yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data dari sample fluida yang akan dilakukan penelitian.

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana fluida yang akan di uji ditempatkan pada penampungan fluida (tank) kemudian dari penampungan ini akan ada dua saluran keluar dimana saluran atas akan terhubung dengan pompa dan saluran yang bawah berfungsi sebagai by-pass. Pada saat katup by-pass terbuka penuh maka aliran dari pompa akan kembali lagi menuju penampungan sehingga tidak akan ada fluida yang menuju ke pipa uji. Sesaat setelah katup by-pass mulai ditutup dan katup utama dibuka maka fluida akan mengalir

melaui pipa uji dan perbedaan head (Δh) akan terbaca pada manometer.



Gambar 3.1 Setup alat penelitian

PERALATAN PENDUKUNG

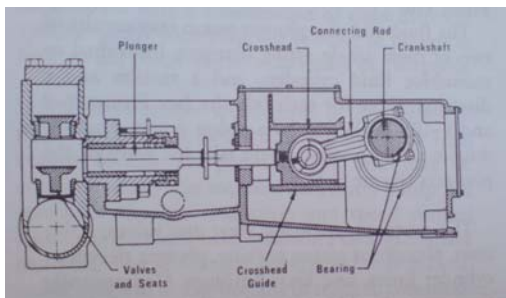
Pada alat uji ini terdapat beberapa komponen yang digunakan antara lain:

Pompa Slurry

Pompa yang digunakan pada alat uji ini adalah pompa slurry jenis reciprocating (pompa piston) dengan putaran motor sebesar 1450 RPM dengan kapasitas pompa sebesar $\frac{1}{2}$ hp dimana pompa ini memiliki section head sejauh 15 meter dan section lift sebesar 10 meter. Daya yang dibutuhkan sebesar 370 watt dengan aliran listrik 1 phase.sistem pelumasannya

menggunakan oli dengan SAE 30 sebanyak 0.1 liter pada crank case.





Gambar 3.3 Prinsip Kerja Pompa Slurry

Manometer

Manometer berfungsi untuk mengukur perbedaan tekanan dalam sebuah pipa jika terdapat fluida yang mengalir di dalamnya. Pada alat uji ini manometer yang digunakan adalah manometer jenis pipa kapiler tetapi terdapat setting bottle. Tujuan dipasangnya setting bottle karena fluida Non-newtonian pada umumnya memiliki sifat histeresis yaitu suatu sifat yang sangat cepat berubah baik karena waktu maupun karena tegangan geser yang diterimanya.



Gambar 3.4 Manometer

Valve

Untuk mengatur jumlah debit yang akan mengalir maka digunakanlah valve, jenis valve yang digunakan adalah close valve tujuannya agar dapat diatur variasi pembukaan yang sangat banyak, pada valve ini terdapat busur derajat yang fungsinya untuk menentukan berapa derajat pembukaan dari valve tersebut



Gambar 3.5 Katup utama

Pipa Penyalur

Pipa ini terdiri dari pipa PVC dengan ukuran 1 inch. Dimana pipa ini di instalasi sesuai dengan gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing. Panjang keseluruhan pipa ini kurang lebih 6 meter

KONDISI DALAM PENGUJIAN

Sebelum pengambilan data dilakukan fluida yang terdapat di dalam

bak penampung diaduk terlebih dahulu tujuannya agar konsentrasi campuran antara air dan Lumpur bercampur. Pada saat mulai pompa mulai dihidupkan semua katup dibuka penuh tujuannya untuk menghindari tekanan yang terlalu tinggi menuju ke pipa uji, jika tekanan ini masuk ke pipa uji kemungkinan akan terjadi kerusakan pada pipa uji.

PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Fluida yang berupa slurry ditempatkan pada tangki bawah kemudian dipompakan menggunakan pompa khusus yaitu pompa slurry, sehingga fluida akan mengalir menuju pipa dengan diameter 1 inch kemudian menuju ke pipa selanjutnya menuju pipa bulat (circular pipe) dengan diameter $\frac{1}{2}$ inch, dimana kedua manometer terdapat pada pipa bulat ini dengan jarak 1000mm antara manometer pertama dan manometer kedua. Manometer yang digunakan harus dilengkapi dengan *setting bottle* hal ini disebabkan karena fluida *Non-Newtonian* ini memiliki suatu sifat histeris maka *setting bottle* ini bertujuan menstabilkan sifat histerisis ini guna mendapatkan data yang lebih akurat. variasi

TAHAP PENGUJIAN

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Masukan fluida uji (Lumpur) ke dalam bak penampungan, pastikan seberapa besar volume Lumpur tersebut
2. Tambahkan air sebagai pelarut sesuai dengan konsentrasi yang dikehendaki
3. Aduk rata campuran antara Lumpur dan air sehingga konsentrasi antara lumpur dan air menjadi merata
4. Menghidupkan pompa, dengan semua katup dalam keadaan terbuka hal ini bertujuan untuk menstabilkan aliran pada saat pengambilan data
5. Menutup perlahan katup by-pass sehingga didapat aliran maksimum pada pipa uji dengan cara memperhatikan ketinggian maksimum dari manometer.
6. Menutup katup utama sehingga aliran dalam pipa uji menjadi kosong
7. Mulai membuka katup utama sebesar 30° dan membaca perbedaan ketinggian pada

- manometer pertama dan manometer kedua, kemudian pada pembuangan di pipa uji diukur debit alirannya dengan cara fluida yang keluar dari pipa uji ditampung dengan gelas ukur dengan jumlah volume tertentu dalam satuan waktu, kemudian timbang berat fluida tadi untuk mengetahui massa jenis dari fluida tersebut.
8. Lakukan langkah ke 7 dengan pembukaan katup utama diperbesar 5° sampai dengan pembukaan penuh sebesar 90°. dan catat semua hasil yang didapat untuk melakukan pengolahan data serta analisa hasil.
 9. Setelah semua data di dapat maka kita tambahkan air untuk membuat perbedaan konsentrasi antara padatan dengan air. Dan lakukan langkah ke dua sampai langkah ke delapan
 10. Pengujian dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan data yang benar dan berusaha agar penyimpangan data sekecil mungkin.
 11. Setelah semuanya selesai rapikan semua peralatan yang digunakan dan tutup semua katup agar tidak ada padatan yang masuk ke dalam pipa penyalur hal ini dapat menyebabkan terjadinya pengendapan dalam pipa penyalur dan apabila alat disirkulasikan lagi dapat menyebabkan pecahnya sambungan pipa karena tekanan yang besar dari pompa.

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA PERHITUNGAN DATA

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa perbedaan tekanan manometer (Δh), debit aliran dari variasi pembukaan katup utama dan konsentrasi campuran antara padatan dengan pelarut. Massa jenis campuran diketahui dengan cara mengukur berat dari fluida tersebut berdasarkan jumlah volume dari fluida tersebut, sedangkan kecepatan aliran didapat dari debit aliran di bagi dengan luas penampang pipa, debit sendiri didapat dengan menampung fluida yang keluar dari pipa uji dengan gelas ukur

dibagi dengan waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi volume tertentu.

$$\frac{\text{volume Lumpur}}{\text{vol.lumpur} + \text{vol.air}} \times 100\% \dots (4.1)$$

percobaan pada penelitian ini menggunakan dua variasi padatan yaitu

pembukaan valve [derajat]	h1 [mm]	h2 [mm]	Δh [mm]	t [s]
40	35	24	11	12.4
45	46	32	14	8.2
50	54	36	18	8
55	63	42	21	7.5
60	76	42	24	7.2
65	56	38	28	6.3
70	62	32	30	6.1
75	74	40	34	5.6
80	78	40	38	5.2
85	82	42	40	4.8

20% dan 45%

untuk mendapatkan padatan 20%,

v [m/s]	A [m ²]	Q [m ³ /s]	ΔP [Pa]
0.493923	0.000127	6.25369E-05	149.5206299
0.741884	0.000127	9.39319E-05	199.36
0.929854	0.000127	0.000117731	249.2018898
1.117825	0.000127	0.000141531	299.0412598
1.413779	0.000127	0.000179002	348.8806299
1.634744	0.000127	0.000206979	398.7225197
1.859709	0.000127	0.000235463	422.808189
2.043681	0.000127	0.000258756	478.1858268
2.291642	0.000127	0.000290151	538.1644094
2.411622	0.000127	0.000305342	558.7048819

campuran yang digunakan adalah 10 liter Lumpur ditambahkan 10 liter pelarut, dari perhitungan yang ada maka didapatkan konsentrasi padatan (Cw)

$$\frac{10}{35 + 10} \times 100\% = 20\%$$

Sedangkan untuk mendapatkan konsentrasi 45%, campuran yang dipergunakan adalah 30 liter Lumpur ditambahkan 35 liter air sebagai pelarut maka dari perhitungan

$$\frac{30}{30 + 35} \times 100\% = 45\%$$

Untuk konsentrasi 45% maka jumlah lumpur yang digunakan agak banyak, tujuannya agar volume campuran di bak penampung melebihi saluran isap pompa

Konsentrasi Padatan 45%

Penelitian selanjutnya dengan konsentrasi padatan 45%, dimana komposisi yang digunakan adalah 30 liter Lumpur dan 35 liter pelarut, setelah komposisi yang dibuat tepat sirkulasikan campuran tersebut sesuai dengan prosedur pengujian.

Data tabel 4.1 Hasil penelitian konsentrasi padatan 45%

Data tabel 4.2 Hasil perhitungan debit, ΔP, luas penampang dan kecepatan untuk padatan 45%

Pada data diatas terlihat debit aliran bertambah besar sesuai dengan pembukaan katup demikian juga dengan kecepatan aliran, kerugian tekanan pada pipa uji juga mengalami pertambahan seiring dengan bertambah besarnya pembukaan katup.selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan geser dalam pipa uji dan gradient kecepatan pada pipa uji sesuai dengan persamaan yang terdapat pada dasar teori

Data tabel 4.3 Hasil perhitungan Tegangan geser dan Gradient kecepatan pada konsentrasi padatan 45%

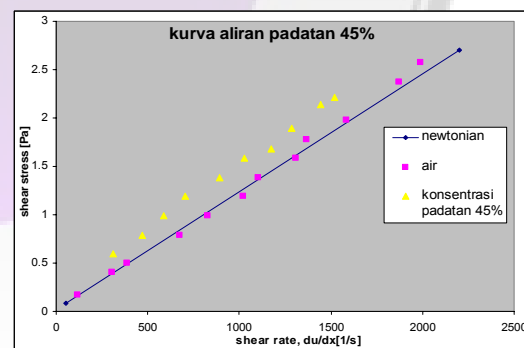
Nilai aliran untuk air terdapat pada tabel 4.4 maka untuk kurva aliran untuk konsentrasi padatan 45 % adalah sebagai

du/dx [1/s]	μ [pa.s]	du/dx air [1/s]	μ air [pa.s]
80	0.003	444.2554	0.00094
387.9708	0.0021	554.244	0.00094
684.7174	0.002	877.3704	0.00094
825.0677	0.0019	1100.09	0.00094
1100.93	0.0018	1329.2	0.00094
1365.456	0.00175	1547.564	0.00094
1496.459	0.00172	1743.349	0.00094
1784.388	0.00163	250.4482	0.00094
		180	0.00094

berikut, nilai tegangan geser dimasukan pada sumbu axis dan nilai gradient kecepatan di plot pada sumbu ordinat

untuk mendapatkan hsil grafik yang lebih baik maka sebaiknya nilai gradient kecepatan pada grafik dimulai dari skala 300/s sampai dengan 1550 Pa. sedangkan untuk nilai tegangan geser dimulai dar 0.5 pa sampai denga 2.5 Pa sehingga didapatkan grafik yang profosional.

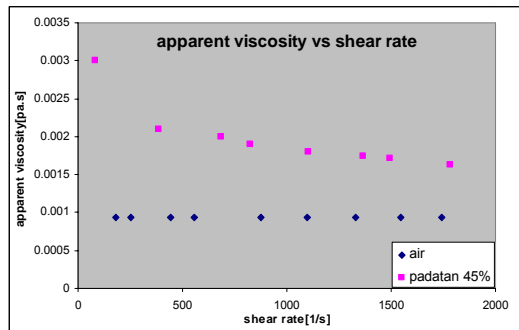
du/dx [1/s]	log du/dx	τ [Pa]	log τ
311.1324	2.492945	0.59341	-0.22665
467.3284	2.669622	0.79121	-0.10171
585.7351	2.767701	0.98902	-0.00479
704.1418	2.84766	1.18682	0.074385
890.5693	2.949668	1.38462	0.141331
1029.76	3.012736	1.58243	0.199325
1171.47	3.068731	1.67802	0.224797
1287.358	3.109699	1.8978	0.27825
1443.554	3.159433	2.13584	0.329569
1519.132	3.181596	2.21736	0.345836



Gambar 4.1 Hubungan antara shear stress dan shear rate pada konsentrasi padatan 45%

Data tabel 4.4 Hubungan apparent viscosity dan gradient

kecepatan untuk air dan padatan 45%
 Dari data diatas dapat dibuat grafik hubungan antara apparent viscosity dengan gradient kecepatan antara air dengan padatan 45% sebagai berikut :



Gambar 4.3 Hubungan antara apparent viscosity dan shear rate pada konsentrasi padatan 45%

pada grafik diatas terlihat dengan bertambahnya gradient kecepatan maka apparent viscosity (kekentalan sesaat) pada konsentrasi 45% semakin menurun dan mendekati viskositas dari fluida Newtonian (air)

hubungan antara koefisien gesek dengan bilangan Reynolds (generatif Reynolds) dapat ditampilkan pada grafik 4.5 berikut ini

Pada tabel diatas ditampilkan hubungan antara factor gesekan dan bilangan Reynolds, perhitungan untuk tabel diatas berdasarkan pada persamaan 2.9 dan 2.10

pada dasar teori. Factor gesekan mengikuti persamaan fanning.

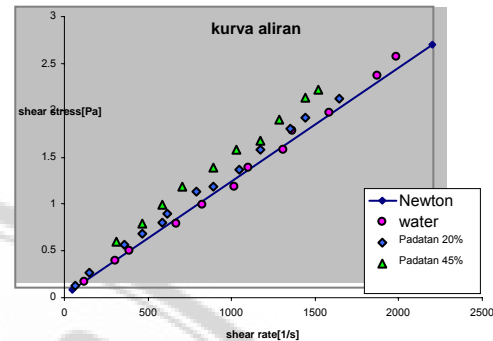
Pembukaan (30-90)	h1 [mm]	h2 [mm]	Δh [mm]	t [s]
30	78	66	12	14
35	78	64	14	12.3
40	76	55	21	12.2
45	84	56	28	12
50	76	42	34	11.7
55	64	62	2	11.5
60	71	66	5	11.3
65	76	66	10	11
70	79	57	16	10.9
75	84	64	20	10.8
80	80	56	24	10.7
85	82	50	32	9.6
90	84	46	38	8.7

laminar		Turbulent		water		45% padatan	
Re	f	Re	f	Re	f	Re	f
600	0.106	2000	0.0473	954.2633	0.06766	1550	0.06545
2200	0.02908	30000	0.02404	1212.679	0.05612	1850	0.06543
				1337.983	0.0487	2050	0.0672
				1577.469	0.04158	2450	0.06173
				1813.816	0.0371	3050	0.05674
				1854.978	0.03581	3850	0.05567
				2309.132	0.04578	4350	0.05467
				2391.08	0.0427	5225	0.05267
				2715.473	0.04414	7050	0.05067
				3329.123	0.04195	7900	0.04857
				4513.37	0.03995	800	0.09975
				6035.937	0.037	1200	0.076
				6985.161	0.034	1000	0.0889
				4524.102	0.033		
				10500.57	0.03283		
				15000	0.0278		
				17000	0.02708		
				20000	0.0265		

Konsentrasi Padatan 20%

Penelitian selanjutnya dengan konsentrasi padatan 20%, dimana komposisi yang digunakan adalah 10 liter Lumpur dan 10 liter pelarut, setelah komposisi yang dibuat tepat sirkulasikan campuran tersebut sesuai dengan prosedur pengujian.

Data tabel 4.5 Hubungan factor gesek terhadap bilangan Reynolds pada



Gambar 4.6 Kurva aliran berbagai variasi konsentrasi padatan

entrasi padatan 45%

Data yang didapat sama seperti data pada konsentrasi 45% yaitu perbedaan ketinggian head pada manometer, debit aliran dan massa jenis dari konsentrasi padatan 20 %.

Data tabel 4.6 Hasil penelitian konsentrasi padatan 20%

Setelah didapatkan data seperti diatas maka dilakukan perhitngan kecepatan aliran, debit aliran, luas penampang pipa uji dan ΔP untuk konsentrasi padatan 20% sesuai dengan persamaan yang ada.

ANALISA DATA

Dari beberapa kali percobaan dengan berbagai konsentrasi padatan maka didapatkan beberapa data beserta grafik dengan analisa sebagai berikut :

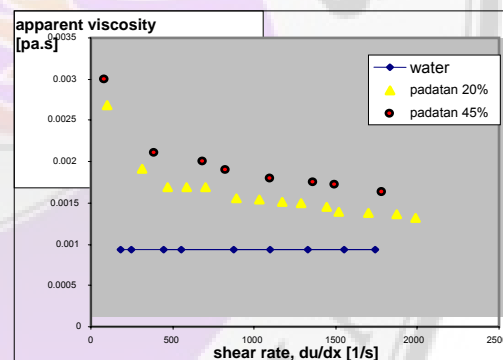
Pada konsentrasi padatan 20%

Kurva aliran mendekati garis Newton ini berarti bahwa dengan campuran pelarut sebanyak 80% sifat dari konsentrasi larutan lebih kepada fluida Newtonian, hal ini menunjukkan kekentalan pada konsentrasi ini sangat dipengaruhi oleh pelarut dalam hal ini air sehingga pada grafik hubungan antara apparent viscosity dengan gradient kecepatan cenderung mendekati kekentalan daripada air.

Pada konsentrasi 45%

Pada konsentrasi ini terlihat pada kurva alirannya berada diatas garis Newton hal ini membuktikan bahwa pada konsentrasi ini campuran antara air dan Lumpur merupakan jenis fluida Non-Newtonian dengan sifat Pseudoplastis atau plastis semu. Dilihat dari kurva aliran dalam skala log-log maka pada konsentrasi ini nilai kemantapan aliran (power law index) berada antara 0.91 sampai 0.96. dari penjelasan sebelumnya

jika nilai kemantapan aliran (power law index) $n = 1$ maka fluida tersebut adalah Newtonian sedangkan jika diatas 1 ($n > 1$) maka fluida tersebut digolongkan kedalam jenis dilatant, apabila nilai kemantapan aliran (power law index) $n < 1$ maka fluida tersebut merupakan jenis pseudoplastis. Jadi untuk konsentrasi kepadatan 20% fluida ini masih memiliki kecenderungan ke jenis Newtonian akan tetapi dengan konsentrasi 45% keatas fluida ini sudah tergolong jenis *Non-Newtonian Pseudoplastis*.



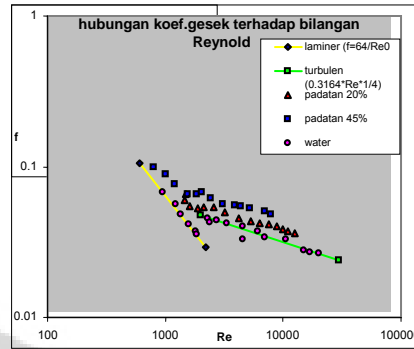
Gambar 4.7 Kurva apparent viscosity dan shear rate Pada berbagai variasi konsentrasi padatan

Hubungan antara *apparent viscosity* (kekentalan sesaat) dengan *shear rate* (gradient kecepatan) pada konsentrasi padatan 20% kekentalan sesaatnya hampir mendekati air akan tetapi jika gradient kecepatannya bertambah maka apperent viscosity akan

berimpit dengan air dan kemungkinan akan di bawah air sedangkan untuk apparent viscosity untuk 45% memiliki kekentalan lebih tinggi dari air, walaupun gradient kecepatannya bertambah kekentalan sesaatnya tetap berada di atas air. Jadi untuk konsentrasi padatan 20% masih mendekati sifat *Newtonian* tetapi pada saat konsentrasi padatan diatas 45% fluida ini memiliki sifat *Thixotropic (shear thinning)* yaitu fluida yang viscositasnya seolah-olah makin lama viscositasnya semakin menurun.

Pada konsentrasi padatan diatas 45% gesekan fluida terhadap dinding pipa uji lebih besar di bandingkan pada padatan dibawah 20%. Untuk padatan dibawah 20% factor gesekan antara fluida dengan dinding pipa masih mendekati factor gesekan pada air murni.

Hubungan antara generatif Reynolds dan factor gesekan pada konsentrasi padatan 45% dan 20% daperlihatkan pada grafik di bawah ini diasumsikan untuk konsentrasi padatan 45% sedangkan untuk padatan di bawah 20% memiliki sifat hampir sama dengan padatan 20% karena padatan ini memiliki kecendrungan ke sifat air.



Gambar 4.8 Kurva friction factor dan bilangan Reynolds Pada berbagai variasi konsentrasi padatan

Pada grafik diatas terlihat nilai factor gesekan untuk padatan 45% keatas berada diatas faktor gesekan untuk konsentrasi padatan 20% dimana konsentrasi padatan 20% memiliki sifat yang hampir sama dengan sifat air.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain :

1. Kekentalan (viscositas) dari suatu fluida sangat tergantung dari beberapa faktor antara lain partikel penyusunya dalam penelitian ini dengan merubah konsentrasi padatan maka terlihat perubahan baik pada kurva aliran dan apparent viscosity terhadap gradient kecepatan (shear rate)

2. Pada umumnya lumpur memiliki sifat pseudoplastis atau plastis semu dan shear thinning (thixotropic) dimana fluida ini akan mengalami penurunan kekentalan seiring bertambahnya kecepatan
3. Nilai koefisien gesek lumpur lebih tinggi daripada koefisien gesek pelarut air murni hal ini terlihat jelas pada konsentrasi padatan diatas 45% dibandingkan dengan padatan dibawah 20%. Hal ini juga menunjukan bahwa konsentari campuran (pada padatan 20%) faktor pelarut jauh lebih dominan dibandingkan dengan lumpur.
4. Lumpur sangatlah susah untuk dialirkan dengan sistem *open duct* (parit) oleh karena itu untuk mengalirkan lumpur ini harus menggunakan pipa atau sistem *close duct*
1. Energi yang digunakan pada penelitian seluruhnya merupakan daya yang dihasilkan oleh pompa, dalam hal ini aliran merupakan aliran paksa. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat sebaiknya digunakan juga aliran alami yaitu fluida dialirkan dari penampungan yang diletakan diatas dan dialirkan secara gravitasi
2. Penambahan additif pada aliran juga sangat berpengaruh pada viscositas, data yang dihasilkan akan jauh lebih baik jika penambahan berbagai macam additif dapat dilakukan.
3. Alat uji ini mampu untuk menguji jenis fluida *Newtonian* maupun *Non-Newtonian*, oleh karena itu sebaiknya selain lumpur dilakukan penelitian fluida lain pada alat ini

DAFTAR PUSTAKA

SARAN

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

1. Reuben M. Olson & Steven J. Wright, **Dasar - Dasar Mekanika Fluida Teknik**, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. 1993.

2. Victor L. Streeter & E. Benjamin Wylie. **Mekanika Fluida**, Jakarta: Erlangga. 1993.
3. Bruce R. Munson & Donald F. young **Mekanika Fluida**, Jilid 1, Jakarta: Erlangga 2005.
4. Bruce R. Munson & Donald F. young **Mekanika Fluida**, Jilid 2, Jakarta: Erlangga 2005.
5. Raswani, **Perencanaan dan Penggambaran Sistem Perpipaan**, Universitas Indonesia. Jakarta, 1987.
6. <http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/articles.php?PublishedID=MES06080206>

